

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Univerzitní studijní programy

Řízení modelu pásového dopravníku pomocí PLC automatu

Conveyor Belt Model Control by PLC Controller

Student:

Gabriel Zalisz

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Datum odevzdání:

15. 5. 2015

Zadání bakalářské práce

Student: **Gabriel Zalisz**
Studijní program: **B3943 Mechatronika**
Studijní obor: **3906R006 Mechatronické systémy**
Téma: **Řízení modelu pásového dopravníku pomocí PLC automatu**
Conveyor Belt Model Control by PLC Controller

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se se současným stavem modelu pásového dopravníku, stavebnicí ROBO PneuVac a popište jednotlivé prvky stavebnice, tj. snímače, akční členy apod.
2. Seznamte se s řídicím systémem – PLC automatem Siemens Simatic řady S7-1500, popište jeho periferie, možnosti programování a proveďte připojení PLC automatu k modelu.
3. Popište současné možnosti řízení modelu pásového dopravníku a vytvořte vlastní program pro PLC automat, umožňující dopravu materiálu v různých režimech.
4. Experimentálně ověřte funkčnost řízení modelu PLC automatem a zhodnoťte dosažené výsledky.

Seznam doporučené odborné literatury:


GRYZCZ, O. Řídicí systém pro model pásového dopravníku. Bakalářská práce. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy, 2013, 41 s.
HEROUT, P. 2004. Učebnice jazyka C. 4.vyd. České Budějovice: KOPP a.s., 2004. ISBN: 978-80-7232-383-8.
POPIS PLC SIEMENS SIMATIC S7-1500. [online], [cit. 2014-10-22]. Dostupné z WWW stránek <<http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objid=6ES75163AN000AB0&caller=view>>.
TECHNICKÝ POPIS PROCESOROVÉ JEDNOTKY SIEMENS SIMATIC S7-1516. [online], [cit. 2014-10-22]. Dostupné z WWW stránek <<http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objid=6ES75163AN>>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.**

Datum zadání: 20.10.2014

Datum odevzdání: 15.05.2015


doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Petr Noskiewiĉ, CSc.
prorektor pro studium

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ STUDENTA

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že...

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Gabriel Zalisz

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Luční 184

737 01 Český Těšín – Dolní Žukov



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla vypracována s podporou projektu Příležitost pro mladé výzkumníky, reg. č. CZ.1.07/2.3.00/30.0016 podpořeného Operačním programem Vzdělávání pro konkurenceschopnost, financovaného ze strukturálních fondů EU a státního rozpočtu ČR.

Děkuji především panu Ing. Miroslavu Mahdalovi, Ph.D. za poskytnuté konzultace při přípravě mé bakalářské práce.

ANOTACE

ZALISZ, G. *Řízení modelu pásového dopravníku pomocí PLC automatu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy, 2015, 44 s. Vedoucí práce: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá návrhem řídicího systému pro model pásového dopravníku. V práci je popsán původní stav modelu, původní možnosti jeho řízení a jednotlivé prvky modelu, tj. snímače přítomnosti materiálu a akční členy. Následně je popsán programovatelný automat Siemens Simatic S7-1500, jeho periferie, možnosti programování a možnosti konfigurace HMI a je navržen elektrický obvod zajišťující propojení automatu s modelem a ovládání modelu. Dále je navržen algoritmus pro dopravu materiálu, systém je naprogramován a odzkoušen a je vytvořeno rozhraní pro ovládání pomocí dotykového panelu.

Klíčová slova: pásový dopravník, programovatelný automat, Simatic S7-1500, TIA Portal, žebříčkový diagram, HMI

ANOTATION

ZALISZ, G. *Conveyor Belt Model Control by PLC Controller: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, University Study Programmes, 2015, 44 p. Thesis head: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Bachelor thesis deals with design of control system for conveyor belt. It describes the original condition of the conveyor belt model, its original control options and sensors and actuators of the model. Then the programmable logic controller Siemens Simatic S7-1500, its peripherals, programming possibilities and HMI configuration options are described and the electrical circuit for controller – model connection and control is designed. In following, material transport algorithm is designed, system is programmed and tested and control interface for touch screen is designed.

Keywords: conveyor belt, programmable logic controller, Simatic S7-1500, TIA Portal, ladder diagram, HMI

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	8
SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK	8
1 ÚVOD	9
2 POPIS MODELU PÁSOVÉHO DOPRAVNÍKU	10
2.1 Popis prvků modelu	10
2.2 Původní možnosti řízení modelu	14
3 SEZNÁMENÍ S ŘÍDICÍM SYSTÉMEM SIMATIC S7-1500	16
3.1 Centrální procesorová jednotka (CPU).....	16
3.2 Signálové moduly	17
3.3 Technologické funkce CPU a technologické moduly.....	18
3.4 Komunikační funkce CPU a komunikační moduly	19
3.5 Programování systému Simatic S7-1500 a možnosti tvorby HMI	19
3.6 Sestavený programovatelný automat	20
4 NÁVRH OBVODU PRO PROPOJENÍ MODELU A ŘÍDICÍHO SYSTÉMU	22
4.1 Spínání prvků modelu	23
4.2 Měření proudu protékajícího prvky	24
4.3 Připojení snímačů přítomnosti materiálu	25
4.4 Další funkce elektrického obvodu	26
5 NÁVRH OVLÁDACÍHO PANELU	29
6 NÁVRH PROGRAMU PRO DOPRAVU MATERIÁLU	31
6.1 Algoritmus dopravy materiálu	31
6.2 Principy fungování systému.....	33
6.3 Tvorba programu pro řídicí systém.....	36
7 NÁVRH ROZHRANÍ PRO DOTYKOVÝ DISPLEJ.....	37
8 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI	39
9 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ A ZÁVĚR.....	41
10 SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ	43
11 SEZNAM PŘÍLOH	44

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AC	střídavý proud (Alternating Current)
AI	analogový vstup (Analog Input)
AQ	analogový výstup (Analog Output)
CPU	centrální procesorová jednotka (Central Processing Unit)
DI	digitální vstup (Digital Input)
DQ	digitální výstup (Digital Output)
DP	decentralizované periferie (Decentralized Peripherals)
HMI	rozhraní člověk – stroj (Human – Machine Interface)
IQ	vstup – výstup (Input – Output)
LED	dioda emitující světlo (Light-Emitting Diode)
PIC32	Peripheral Interface Controller 32bit
PLC	programovatelný automat (Programmable Logic Controller)
PM	napájecí zdroj (Power Module)
PN	Profinet (komunikační rozhraní)
RTD	odporový snímač teploty (Resistance Temperature Detector)
SMC	Static Memory Controller
TC	termočlánek (Thermocouple)

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

I	značka elektrického proudu
mA	miliampér – jednotka elektrického proudu
MB	megabajt – jednotka množství dat (10^6 bajtů)
mV	milivolt – jednotka elektrického napětí
ns	nanosekunda – jednotka času
P	značka výkonu
U	značka elektrického napětí
V	volt – jednotka elektrického napětí
W	watt – jednotka výkonu

1 ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem systému řízení modelu pásového dopravníku pomocí programovatelného automatu.

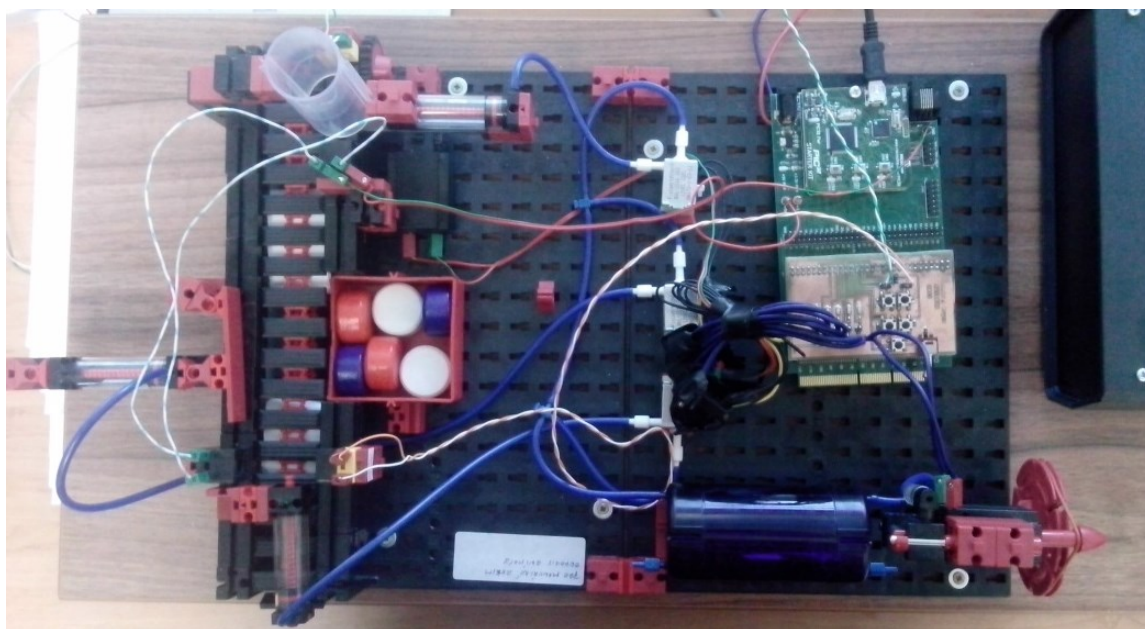
Řízení pomocí programovatelného automatu se v průmyslu používá velice často. Do programovatelného automatu jsou obvykle napojeny různé analogové a diskrétní snímače (např. snímače teploty, inkrementální čidla, indukční snímače) a signály zadávané obsluhou např. pomocí tlačítek. V automatu běží uživatelský program. Na základě provedení programu automat zapisuje údaje na výstupy, které jsou následně napojeny na řízenou technologii a dokáží ji ovlivnit. Moderní programovatelné automaty umožňují připojení různých prvků jako např. frekvenčních měničů, dotykových displejů, prvků pro zpracování obrazu atd. Dokáží rovněž sdílet data s nadřazeným systémem, např. poskytovat údaje pro počítačovou vizualizaci technologie nebo informovat dispečink o stavu systému.

V této bakalářské práci je za účelem řízení modelu použit programovatelný automat Simatic S7-1500 od firmy Siemens. Systém dopravy materiálu na pásovém dopravníku je navržen tak, aby mohl fungovat v několika režimech a aby jej bylo možno ovládat pomocí panelu s tlačítky a pomocí dotykového displeje.

2 POPIS MODELU PÁSOVÉHO DOPRAVNÍKU

Model pásového dopravníku byl sestaven v akademickém roce 2012/2013 za účelem řízení pomocí mikrokontroléru řady PIC32 od firmy Microchip. Model je sestaven ze stavebnice ROBO PneuVac, která je produktem německé firmy Fischertechnik. Základním prvkem modelu je pásový dopravník, který transportuje materiál (plastové válečky) ze zásobníku do kontejneru. K manipulaci s materiálem slouží tři pneumatické písty, které jsou ovládány pomocí tří elektromagnetických ventilů. Dále model obsahuje dva snímače přítomnosti materiálu, kompresor a tlakovou nádobku pro stlačený vzduch.

Na *obr. 1* je zobrazen celý model pásového dopravníku včetně původní řídicí jednotky.

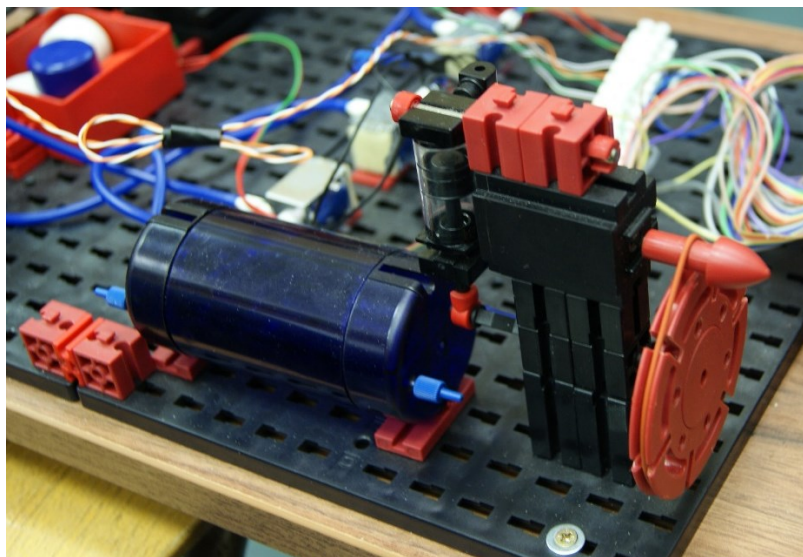


Obr. 1 – Původní stav modelu pásového dopravníku

2.1 Popis prvků modelu

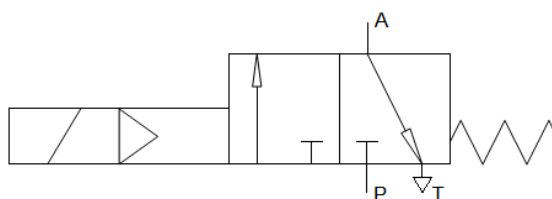
Zdrojem pneumatické energie je malá tlaková nádobka, do které je vtlačován vzduch pomocí kompresoru. Válec pístu kompresoru je kloubově uchycen k rámu stroje. Pohyb pístnice pístu je zajištěn klikovým mechanismem, který převádí rotační pohyb elektromotorku na přímočarý pohyb pístnice. Hřídel elektromotorku a kliková hřídel jsou propojeny řemenovým převodem. V případě, že je tlaková nádobka naplněna, tzn. je v ní dostatečný tlak, začne řemenový převod samovolně prokluzovat, nedojde tak k přetlakování nádobky nebo k nežádoucímu zastavení motorku. Z pístu jde vzduch přes

jednosměrný ventil do tlakové nádoby. Na *obr. 2* je fotografie kompresoru a tlakové nádoby. [1]



Obr. 2 – Kompresor a tlaková nádoba

Tlaková energie je z tlakové nádoby přivedena do tří ventilů. Jedná se o dvoupolohové/třicestné elektromagnetické pneumatické rozvaděče s vratnou pružinou. Ventily jsou otevírány přivedením elektrického napětí z řídicího systému na cívku ventilu a ovládají vysouvání tří pneumatických pístů. *Obr. 3* a *obr. 4* ukazují schéma a fotografii ventilu. [1]

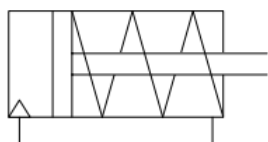


Obr. 3 – Schéma pneumatického rozvaděče [1]

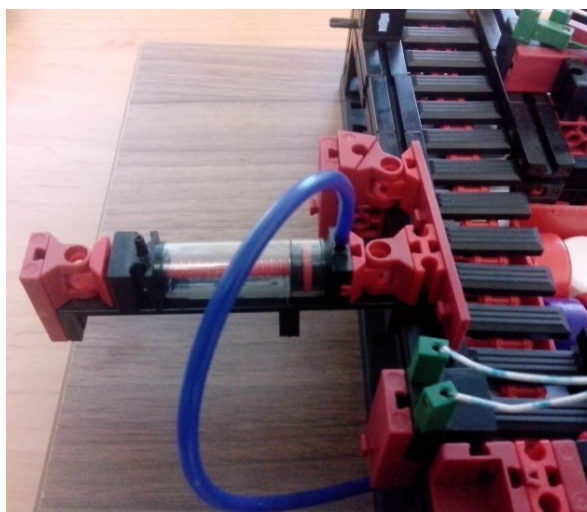


Obr. 4 – Pneumatický rozvaděč

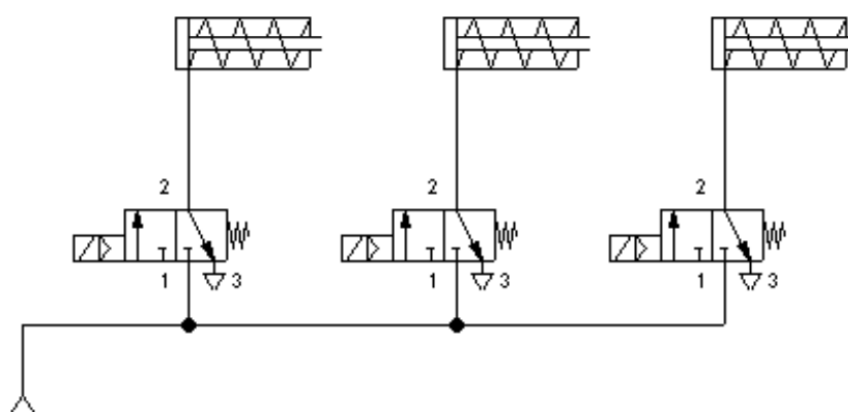
Materiál určený pro přepravu je uložen v zásobníku. Maximální kapacita zásobníku je šest součástí. Ze zásobníku je materiál vysouván na pás pomocí prvního pístu. Pás je poháněn stejnosměrným motorkem s převodovkou. Na konci dopravníku jsou další dva písty, které zajišťují přesun materiálu do kontejneru. Na *obr. 5* je schéma pneumatického pístu, na *obr. 6* je fotografie jednoho z pístů a pásu. Na *obr. 7* je schéma pneumatického obvodu modelu.



Obr. 5 – Schéma pneumatického pístu [1]

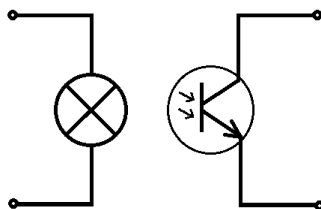


Obr. 6 – Pás a pneumatický píst

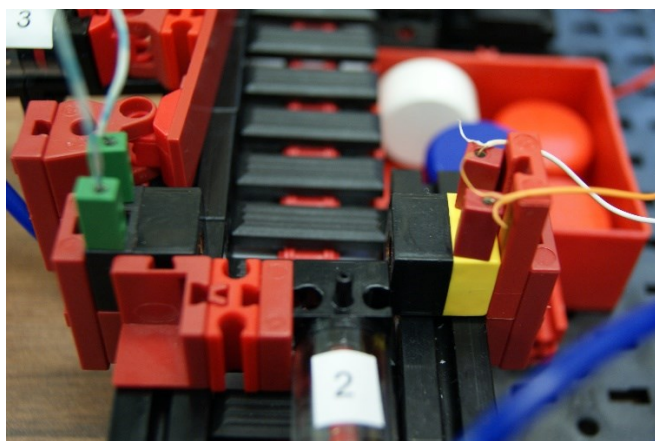


Obr. 7 – Schéma pneumatického obvodu modelu [1]

Model pásového dopravníku má dva snímače přítomnosti materiálu. Tyto snímače pracují na principu jednobodové světelné závory. Jeden snímač je umístěn v dolní části zásobníku materiálu, vyhodnocuje tak přítomnost materiálu v zásobníku. Druhý snímač je umístěn na konci pásu, vyhodnocuje tedy, zda je materiál v pozici, kdy je potřeba zastavit pás a provést přesun do kontejneru. Zdrojem světla pro každý snímač je žárovka, která permanentně svítí na fototranzistor. Pokud je světelný tok ze žárovky na fototranzistor nepřerušen, tj. fototranzistor je osvětlen, chová se jako malý odpor. Pokud se však mezi žárovku a fototranzistor dostane materiál, světelný tok se přeruší a fototranzistor se chová jako velký odpor. Tohoto jevu využívá řídicí jednotka k vyhodnocení přítomnosti materiálu v zásobníku a na konci pásu. Na *obr. 8* je elektrické schéma světelné závory. Na *obr. 9* je fotografie jednoho ze snímačů. V levé části fotografie je zdroj světla, v pravé části je fototranzistor. [1]



Obr. 8 – Schéma světelné závory



Obr. 9 – Snímač přítomnosti materiálu (světelná závora)

Tab. 1 uvádí elektrické veličiny na jednotlivých prvcích modelu. Sloupec U (V) uvádí napětí ve voltech předepsané výrobcem stavebnice, které je nutno přivést na prvek pro zajištění jeho správného fungování. Sloupec I (mA) uvádí proud v miliampérech, který teče prvkem při připojení předepsaného napětí. Hodnoty proudu byly změřeny pomocí multimetru. Sloupec P (W) uvádí výkon prvku ve wattech.

Tab. 1 – Elektrické veličiny na prvcích modelu

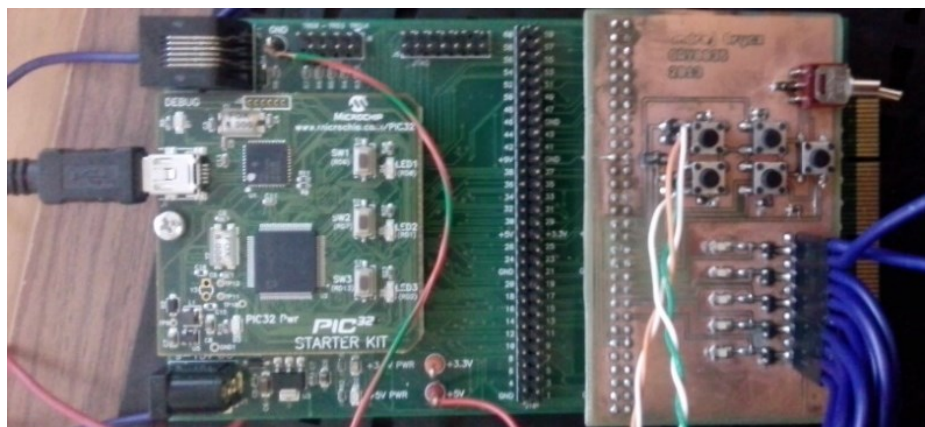
Prvek	U (V)	I (mA)	P (W)
Elektromotorek kompresoru nezatížený (prázdná nádobka)	12	165	1,98
Elektromotorek kompresoru zatížený (natlakovaná nádobka)	12	210	2,52
Elektromotorek pásu	12	110	1,32
Ventil (jeden, celkem jsou tři)	12	130	1,56
Žárovky (společně)	5	220	1,10
Součet	–	670	8,48

V součtu je zahrnut proud zatíženého motorku kompresoru. Proud ventilu je zahrnut pouze jednou, protože v jednom časovém okamžiku je najednou vysunut pouze jeden píst.

Hodnoty proudů a napětí na prvcích modelu jsou v další části této práce využity při výběru součástek elektrického obvodu zajišťujícího propojení programovatelného automatu a modelu.

2.2 Původní možnosti řízení modelu

Řízení modelu bylo původně realizováno pomocí mikrokontroléru řady PIC32 od firmy Microchip. Systém řízení fungoval tak, že po připojení mikrokontroléru ke zdroji elektrické energie se nejdříve inicializoval hardware a periferie mikroprocesoru a poté se spustila smyčka programu. Model mohl pracovat ve dvou režimech: v automatickém a v manuálním. Přepínač automatického a manuálního režimu a tlačítka pro ovládání modelu v manuálním režimu byly umístěny na desce plošného spoje u řídicí jednotky. Na *obr. 10* je fotografie řídicí jednotky a desky plošných spojů pro ovládání modelu.



Obr. 10 – Původní řídicí jednotka a deska plošných spojů pro ovládání modelu

V automatickém režimu řízení řídicí jednotka čekala na vložení materiálu do zásobníku. Jakmile první světelná závora detekovala přítomnost materiálu, první píst vysunul materiál na pás a zároveň se spustil elektromotorek pásu. Následně byl materiál přepravován pásem až na konec, kde byla druhá světelná závora. Jakmile druhá světelná závora detekovala přítomnost materiálu, řídicí jednotka vypnula pohon pásu a druhý píst posunul materiál. Ihned po zasunutí druhého pístu vysunul třetí píst materiál do kontejneru.

Po dobu celého procesu přepravy materiálu řídicí jednotka nereagovala na přítomnost materiálu v zásobníku. Jakmile byl proces přepravy ukončen, řídicí jednotka opět vyhodnocovala přítomnost materiálu. V daném okamžiku se tedy na pásu nacházel maximálně jeden kus přepravovaného materiálu.

V manuálním režimu řízení řídicí jednotka čekala na pokyny obsluhy zadávané pomocí tlačítek. Jednotlivými tlačítky byl ovládán motorek pohánějící pás a tři pneumatické ventily ovládající písty. Po dobu držení příslušného tlačítka byl zapnut motorek, popř. byly vysunuty písty. Při použití manuálního režimu bylo zapotřebí odpojit fototranzistory světelných závor, jelikož byly připojeny paralelně k tlačítkům. [1]

3 SEZNÁMENÍ S ŘÍDICÍM SYSTÉMEM SIMATIC S7-1500

Simatic S7-1500 je (v době psaní tohoto textu) nejnovějším a nejvýkonnějším programovatelným automatem firmy Siemens. Je vhodný pro rozsáhlé aplikace ve strojní a procesní automatizaci. Simatic S7-1500 se vyznačuje tzv. modulární koncepcí. Znamená to, že jednotlivé části automatu – moduly (zdroj napětí, jednotka CPU, IQ moduly atd.) lze podle určitých pravidel podle potřeby složit do jednoho celku a následně propojit. Na *obr. 11* je automat Simatic S7-1500 skládající se z jednotky CPU, jednoho DI modulu, jednoho DQ modulu a jednoho AI modulu. [2]



Obr. 11 – Simatic S7-1500 [9]

Každý modul je navržen tak, aby jej bylo možné připevnit na přístrojovou lištu. Do modulu zdroje napájení je nejprve zapotřebí přivést napájení z elektrické sítě. Poté je nutno zdroj napájení propojit pomocí dvou kabelů s jednotkou CPU, jednotku CPU pak s dalšími modulem atd. Každý modul je napájen z předchozího. Pokud je modulů hodně, je potřeba použít více zdrojů napájení. K jednomu CPU je možno připojit nejvíce 31 modulů. Pokud je zapotřebí použít více než 31 modulů, je nutno použít distribuovaný systém řízení. [2]

3.1 Centrální procesorová jednotka (CPU)

Centrální procesorová jednotka je hlavní částí programovatelného automatu. Je v ní umístěn procesor, ve kterém běží operační systém automatu a uživatelský program.

CPU pro Simatic S7-1500 se vyrábí v šesti provedeních. Jednotlivá provedení se označují kódy 1511-1 PN, 1513-1 PN, 1515-2 PN, 1516-3 PN/DP, 1517-3 PN/DP a 1518-4 PN/DP. Liší se od sebe různými parametry, např. počtem portů Profinet

a Profibus, velikostí paměti pro program a data, dobou zpracování cyklu programu aj. Na *obr. 12* jsou tyto CPU zobrazeny (kromě 1517-3 PN/DP). [3]



Obr. 12 – Různé CPU pro Simatic S7-1500 [9]

Komunikace CPU s ostatními moduly je umožněna díky propojení modulů pomocí U-konektorů. U-konektor spojuje vždy dva sousední moduly na zadní straně.

3.2 Signálové moduly

Signálové moduly slouží k připojení elektrických signálů z řízené technologie do automatu a k připojení elektrických signálů z automatu do řízené technologie. Moduly mohou mít různý počet vstupů nebo výstupů, k dostání jsou rovněž vstupně-výstupní moduly, které mají jak vstupy, tak i výstupy.

Moduly digitálních (dvouhodnotových) vstupů a výstupů mají obvykle 32 vstupů nebo výstupů. Jsou však dostupné moduly s 16 vstupy a 16 nebo 8 výstupy. Výstupy mohou být tranzistorové, triakové a reléové. U tranzistorových výstupů a u všech vstupů je jako logická 0 chápána hodnota napětí 0 V, jako logická 1 je chápána hodnota napětí 24 V. Toto relativně vysoké napětí je vhodné z toho důvodu, že v průmyslu se často objevují různé rušivé signály. Vyšší napětí je vůči těmto rušivým signálům odolnější. U vstupů je dovolena určitá tolerance napětí. Jako logickou 0 automat chápe napětí -30 až 5 V, jako logickou 1 automat chápe napětí 11 až 30 V. Maximální proudové zatížení tranzistorového digitálního výstupu je $0,5$ A.

Moduly analogových (spojitých) vstupů a výstupů pracují s rozlišením 16 bitů (včetně znaménka). Moduly analogových vstupů mají obvykle 8 kanálů, moduly výstupů mají 4 kanály. Moduly vstupů je možné nastavit na měření různých veličin v různých rozsazích, mj.:

- ± 50 mV až ± 10 V,
- 4 až 20 mA, 0 až 20 mA, ± 20 mA (pomocí dvou nebo čtyř vodičů),
- termočlánky a odporové teploměry.

Signálové moduly se vyrábějí ve dvou šířkových variantách: klasické (šířka 35 mm) a zúžené (šířka 25 mm). Na *obr. 13* je klasický DI modul se 32 digitálními vstupy.



Obr. 13 – DI modul [9]

3.3 Technologické funkce CPU a technologické moduly

Každá centrální procesorová jednotka řídicího systému Simatic S7-1500 zvládne běžné aplikace typu Motion Control (řízení polohy a pohybu). Tímto je možno připojit přímo, bez doplňkových modulů, analogově i číslicové řízené pohony. Ke konfiguraci těchto funkcí jsou k dispozici softwarové funkční bloky odpovídající standardům vydaným organizací PLCopen. [2]

Další integrovanou technologickou funkcí CPU je funkce PID regulace se snadno konfigurovatelnými funkčními bloky zajišťujícími vysokou kvalitu regulačních pochodů. Optimální hodnoty parametrů PID regulátorů dokáže jednotka nastavit automaticky. [2]

Tam, kde jsou možnosti CPU nedostačující, je zapotřebí použít technologické moduly, které umožňují velmi rychlé a přesné zpracování signálu na hardwarové úrovni. Používají se zpravidla pro přesné vyhodnocení a pro regulaci polohy a rychlosti.

3.4 Komunikační funkce CPU a komunikační moduly

Komunikační funkce centrální procesorové jednotky (CPU) se liší podle její verze. Procesorová jednotka 1516-3 PN/DP má tři porty pro Ethernet, resp. Profinet komunikaci – dva se obvykle využívají pro komunikaci na úrovni řízení procesu (např. s frekvenčními měniči nebo s HMI) a jeden se používá pro připojení k nadřazenému systému (např. do informační sítě podniku). Jednotka dokáže rovněž fungovat jako webový server za účelem přístupu k provozním či systémovým údajům na dálku nebo za účelem diagnostiky.

Dále je procesorová jednotka CPU 1516-3 PN/DP vybavena jedním portem pro komunikaci Profibus.

Pokud komunikační možnosti samotné CPU nestačí, je možno k CPU připojit komunikační moduly. Tyto moduly umožňují komunikaci pomocí rozhraní Profinet, Profibus, Ethernet Powerlink, RS232, RS485 aj.

3.5 Programování systému Simatic S7-1500 a možnosti tvorby HMI

K programování systému Simatic S7-1500 se používá prostředí TIA Portal vyvíjené společností Siemens. [4]

TIA Portal je komplexní softwarový nástroj umožňující jednotným způsobem navrhovat, ovládat a spravovat řídicí jednotky, operátorská rozhraní a pohony, sdílet uložené údaje a automaticky udržovat konzistenci dat v celém projektu automatizačního systému současně s nabídkou výkonných knihoven programů pokrývajících všechny automatizační prvky. TIA Portal se vyznačuje velkým počtem funkcí, automatickou systémovou diagnostikou, různými komunikačními možnostmi a možností využití různých programovacích jazyků. [5]

Prostředí TIA Portal umožňuje vytváření programu mnoha způsoby. Mezi nejpoužívanější patří:

- **Ladder diagram** – tzv. jazyk kontaktních schémat, který je určen k zápisu úloh převážně logického typu, jejichž program je sestavován obdobně jako liniové schéma reléových systémů. Dílčí logické funkce jsou vytvářeny jako sérioparalelní kombinace kontaktů spolu s výstupními funkcemi cívek relé, paměťovými funkcemi, čítači, časovači a dalšími funkčními bloky.

V celkovém schématu připomínají dílčí obvody příčky žebříku – odtud pochází anglický název jazyka. [5]

- **Function block diagram** – Program se vytváří pomocí logického (blokového) schématu; výhodou je možnost tvořit a opakovaně používat uživatelské funkční bloky, jako např. proporcionální, integrační a derivační regulace (PID), čítače a časovače na různých místech aplikace nebo v různých projektech. [6]
- **Structured text logic** – Program se skládá z jednotlivých příkazů, které provádí výpočty (zpracování výrazů) a přiřazení a řídí tok vykonávání programu. [7]

Ke konfiguraci HMI slouží, stejně jako k programování automatu, prostředí TIA Portal, ke kterému však musí být doinstalováno rozšíření WinCC. Nejprve je třeba vytvořit jednotlivé obrazovky, do nichž je pak možno vložit různé grafické prvky a propojit je se stavy proměnných v programovatelném automatu. Je také možno nastavit pohyb nebo viditelnost prvků v závislosti na stavu proměnných a takto vytvořit animaci. Prostředí WinCC obsahuje rovněž knihovny předdefinovaných prvků, jako tlačítka, spínače apod.

3.6 Sestavený programovatelný automat

Programovatelný automat sestavený za účelem realizace této bakalářské práce je sestaven následujícím způsobem:

1. modul: PM 190 W 120/230VAC – napájecí zdroj, který dodává stejnosměrné napětí o velikosti 24 V do následujících modulů a do dotykového panelu,
2. modul: 1516-3 PN/DP – centrální procesorová jednotka (na *obr. 12* druhá zprava), která má následující vlastnosti [3]:
 - vhodná pro velké a komunikační aplikace
 - integrovaná pracovní paměť pro program 1 MB,
 - integrovaná pracovní paměť pro data 5 MB,
 - doba zpracování bitových operací 10 ns,
 - programovatelná od STEP 7 V13 Update 3,
 - tři integrovaná rozhraní Ethernet (resp. Profinet).

3. modul: AQ 4xU/I ST – modul analogových výstupů (je sice částí sestavy PLC, ale není použit),
4. modul: AI 8x U/I/RTD/TC ST – modul analogových vstupů,
5. modul: DQ 32x24VDC/0,5A ST – modul digitálních výstupů (tranzistorové výstupy),
6. modul: DI 32x24VDC HF – modul digitálních vstupů.

Dále je k programovatelnému automatu pomocí rozhraní Ethernet připojen dotykový panel Siemens TP700 Comfort. Pomocí druhého rozhraní Ethernet je automat připojen k osobnímu počítači za účelem programování a testování.

Fotografie sestaveného programovatelného automatu je na *obr. 14*.



Obr. 14 – Sestavený programovatelný automat

4 NÁVRH OBVODU PRO PROPOJENÍ MODELU A ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

Aby bylo možné propojit řídicí systém a model pásového dopravníku, je vyroben elektrický obvod (deska plošných spojů), který zajišťuje následující funkce:

- přivedení správného napětí na příslušné akční členy modelu při sepnutí logického výstupu automatu,
- fungování světelných závor,
- sledování proudu protékajícího DC motorky,
- připojení tlačítek a spínačů pro ovládání modelu,
- připojení signálních LED diod a
- vyvedení signálů na konektory.

Vyrobená deska plošných spojů je spolu se zdrojem poskytujícím stejnosměrné napětí o velikosti 24 V umístěna v úložné krabičce u modelu. Tato krabička je spolu s modelem připevněna na dřevěnou desku. Do stěn krabičky je vyvedena zásuvka pro připojení tzv. magnetofonové šňůry, kterou je napájecí zdroj připojen do elektrické sítě, dále jsou do stěn krabičky vyvedeny tři 37pinové konektory typu CANON. Pomocí jednoho konektoru (na levé straně krabičky) jsou k obvodu připojeny prvky modelu (ventily, motorky, snímače a žárovky) a pomocí dvou konektorů (na pravé straně krabičky) je obvod připojen k programovatelnému automatu.

Skutečnost, že model je připojen k automatu dvěma konektory vychází ze směrnice pro připojení programovatelných automatů k modelům v dané učebně. Bylo by možné model připojit pomocí jednoho konektoru, ale na jeden konektor není vyveden dostatečný počet vstupních a výstupních signálů z programovatelného automatu, proto je potřeba použít konektory dva.

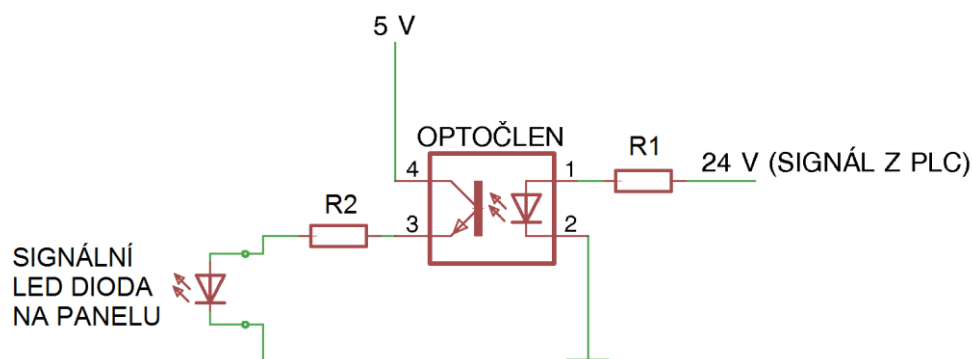
Na první konektor jsou z obvodu vyvedeny všechny analogové signály (je však využit i jeden digitální vstup do programovatelného automatu), na druhý konektor jsou pak vyvedeny všechny digitální signály (vstupy a výstupy). Na každém konektoru je na několik pinů přivedeno stejnosměrné napětí 24 V z napájecího zdroje automatu, na několik pinů je přivedena zem napájecího zdroje automatu (totožná se signálovou zemí modulů automatu).

4.1 Spínání prvků modelu

Programovatelné automaty používají jako dvouhodnotový signál pro digitální vstupy a výstupy stejnosměrné napětí o hodnotě 24 V (logická 1) a 0 V (logická 0). DC motorky v modelu pásového dopravníku pracují optimálně při napětí 12 V. LED diody (signálky) na ovládacím panelu modelu je možno napájet napětím 5 V (s použitím předřadného rezistoru). Proto je nutné zajistit, aby při sepnutí logického výstupu automatu (24 V) bylo na příslušné akční členy nebo signalizační prvky připojeno potřebné napětí (5 nebo 12 V). K desce plošných spojů je připojeno stejnosměrné napětí o velikosti 24 V ze samostatného spínaného zdroje umístěného vedle desky v úložné krabici. Jako ochrana proti přepólování je použita dioda D_1 . Na desce je DC-DC měnič M_1 , který napětí 24 V mění na napětí 12 V. Dále je na desce stabilizátor napětí S_1 , který napětí 12 V snižuje na 5 V. Vstup a výstup stabilizátoru napětí vyžadují připojení kondenzátorů C_1 a C_2 . Napěťové úrovně 24 V, 12 V a 5 V jsou dále rozvedeny k jednotlivým prvkům obvodu a k tlačítkům.

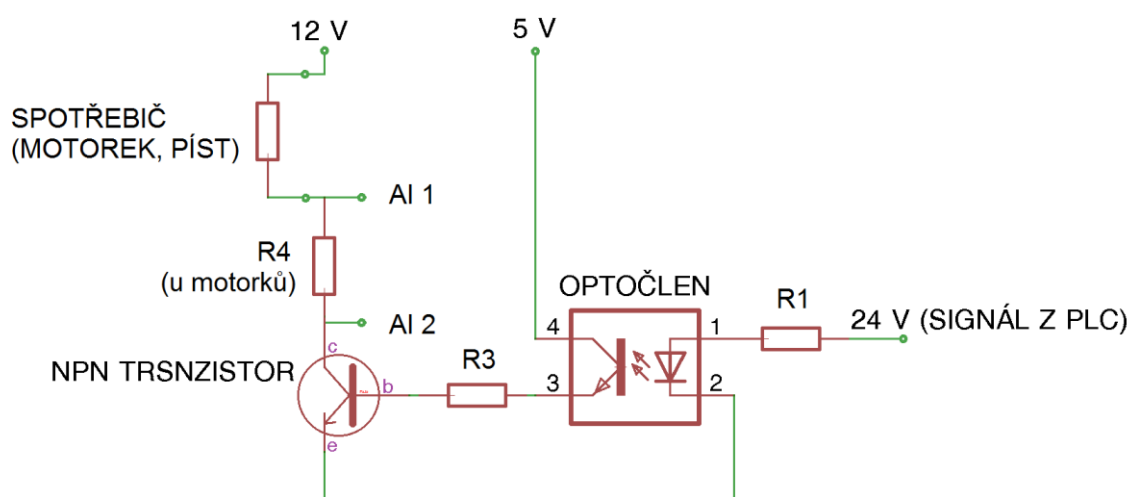
Spínání je zapojeno dvojím způsobem. Jinak jsou spínány signální LED diody (prvky s malým výkonem) a jinak ventily a motorky (prvky s vyšším výkonem).

Prvky s malým výkonem, tj. signální LED diody, jsou spínány pomocí tzv. optočlenů. Optočlen je elektronická součástka, obvykle má 4 vývody. Uvnitř je LED dioda a fototranzistor. Pokud je na LED diodu přivedeno napětí, fototranzistor je osvětlen a otevře se, funguje tedy jako spínač. Pomocí optočlenů lze zajistit galvanické oddělení dvou napěťových úrovní. Tohoto oddělení se často využívá pro ochranu komponent řídicího systému. V případě modelu pásového dopravníku je situace opačná: komponenty modelu jsou chráněny před relativně vysokým napětím z programovatelného automatu. Na anodu LED diody je přes rezistor R_1 přiveden logický signál z automatu (0 nebo 24 V), katoda LED diody je připojena na zem. Na kolektor fototranzistoru je přivedeno napětí, které je zapotřebí spínat, tj. 5 V, na emitor fototranzistoru je připojena LED dioda (přes rezistor R_2). Rezistory R_1 a R_2 slouží k nastavení pracovního bodu LED diod uvnitř optočlenu a na panelu. Schéma zapojení spínání prvků modelu s malým výkonem je na *obr. 15*.



Obr. 15 – Schéma zapojení spínání prvků s malým výkonem

Prvky s vyšším výkonem, tj. ventily a motorky, jsou spínány rovněž pomocí optočlenů, avšak z emitoru fototranzistoru je signál veden přes rezistor R_3 do báze NPN tranzistoru. Na kolektor NPN tranzistoru je připojen spínaný prvek, emitor NPN tranzistoru je připojen na zem. Schéma zapojení spínání prvků modelu s vyšším výkonem je na obr. 16.



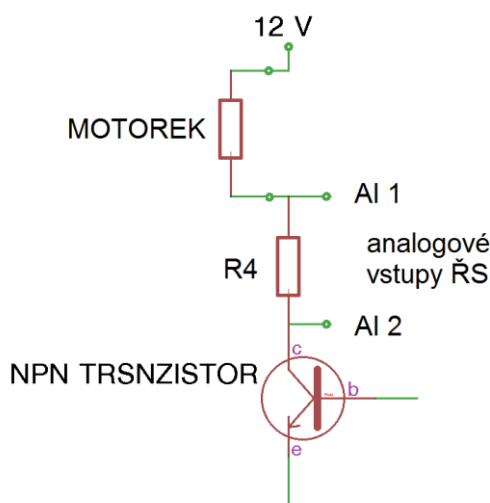
Obr. 16 – Schéma zapojení spínání prvků s vyšším výkonem

Žárovky světelných závor jsou napájeny přímo z obvodu (ze stabilizátoru napětí s výstupem 5 V) nezávisle na výstupech z programovatelného automatu.

4.2 Měření proudu protékajícího prvky

Elektrický obvod umožňuje sledování proudu protékajícího DC motorky kompresoru a pásu. Do série s motorkem je v obvodu zařazen rezistor R_4 , jehož oba konce jsou připojeny na analogové vstupy programovatelného automatu. Hodnota odporu

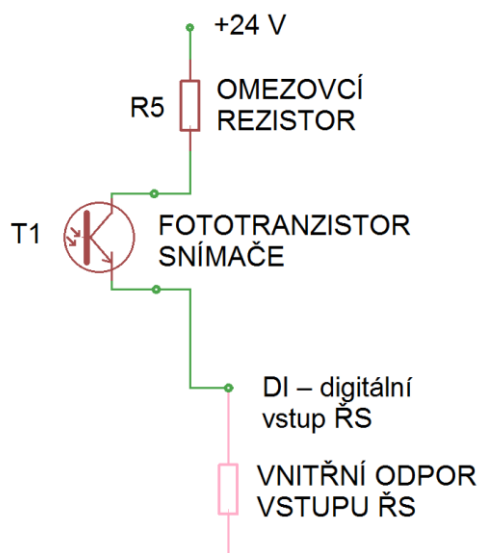
rezistoru je velmi malá, $1\ \Omega$, díky čemu rezistor prakticky neovlivní výkon motorku. Pokud rezistorem protéká proud, vzniká na něm úbytek napětí a na analogových vstupech se objeví různá napětí. Z jejich rozdílu je pak možno spočítat proud motorkem. Pokud rezistorem neprotéká proud, je na obou analogových vstupech stejné napětí, rozdíl je tedy roven nule. Schéma zapojení měření proudu u motorků je na *obr. 17*.



Obr. 17 – Schéma zapojení měření proudu protékajícího motorky

4.3 Připojení snímačů přítomnosti materiálu

Další funkcí elektrického obvodu je zajištění správného fungování světelných závor (snímačů detekujících přítomnost materiálu). Jako nejlepší se ukázalo zapojení fototranzistorů snímače způsobem uvedeným na *obr. 18*. Pokud mezi žárovkou a fototranzistorem není materiál, na vstupu řídicího systému je logická 1. Pokud mezi žárovkou a fototranzistorem je materiál, na vstupu řídicího systému je logická 0. Elektrické zapojení světelné závory je na *obr. 8*. Mezi připojené napětí 24 V a fototranzistor je zařazen rezistor R_5 pro omezení proudu v případě zkratu.



Obr. 18 – Schéma zapojení fototranzistorů snímačů přítomnosti materiálu

4.4 Další funkce elektrického obvodu

Elektrický obvod obsahuje několik zdířek pro připojení konektorů na ploché kabely. Některými z těchto konektorů jsou vyvedeny signály pro tlačítka a signalizační diody, ostatní konektory slouží pro připojení kabelů, které vedou k 37pinovým konektorům typu CANON ve stěnách úložné krabice. Tyto konektory slouží pro připojení obvodu k modelu a k programovatelnému automatu.

Na obr. 19 je elektrické schéma navrženého obvodu. Označení rezistorů na obr. 19 je shodné s označením rezistorů v dílčích obvodech na předchozích obrázcích.

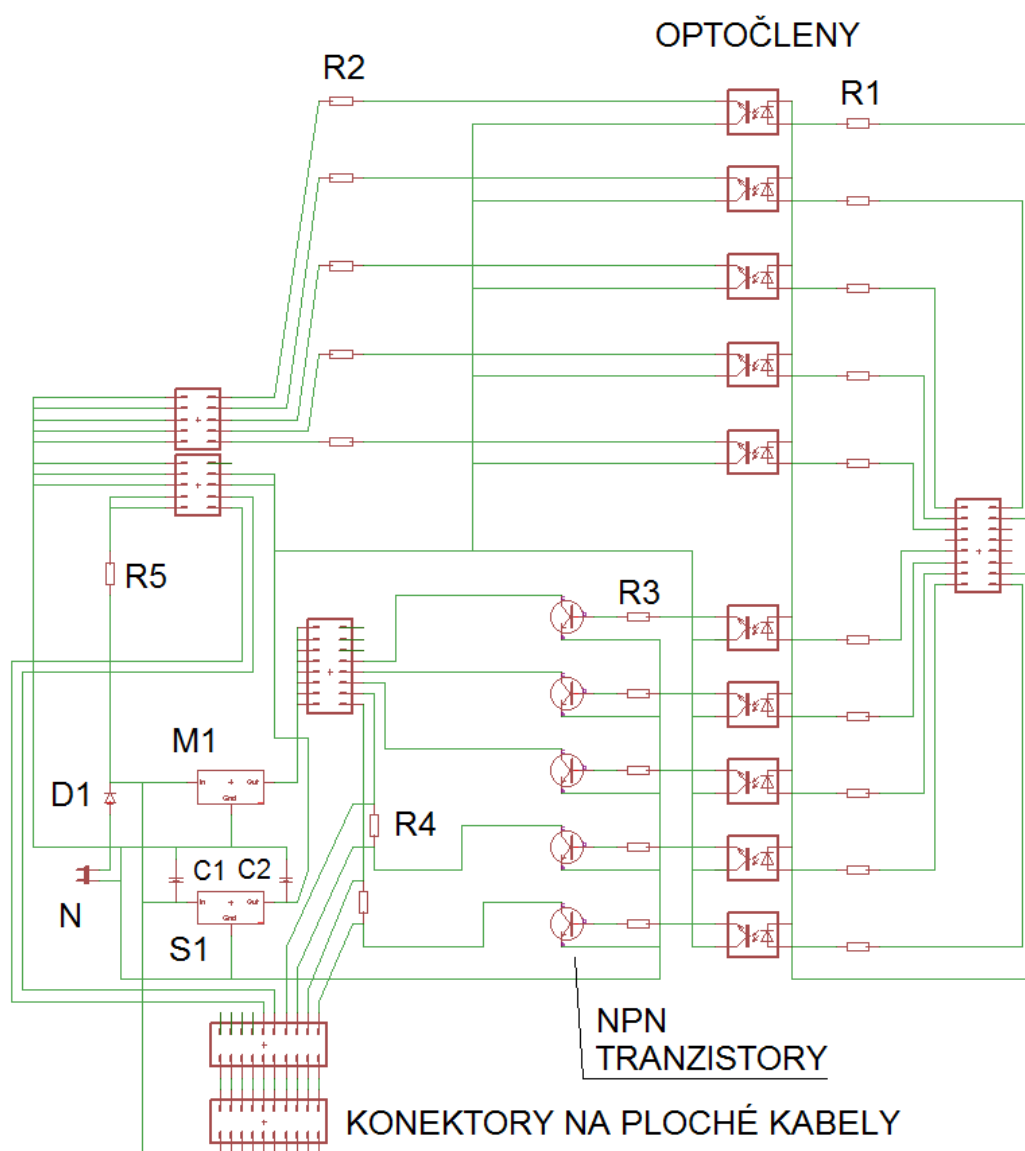
Tab. 2 uvádí specifikace součástek použitých v obvodu.

Na obr. 20 je návrh desky plošných spojů a na obr. 21 je fotografie hotové desky osazené součástkami.

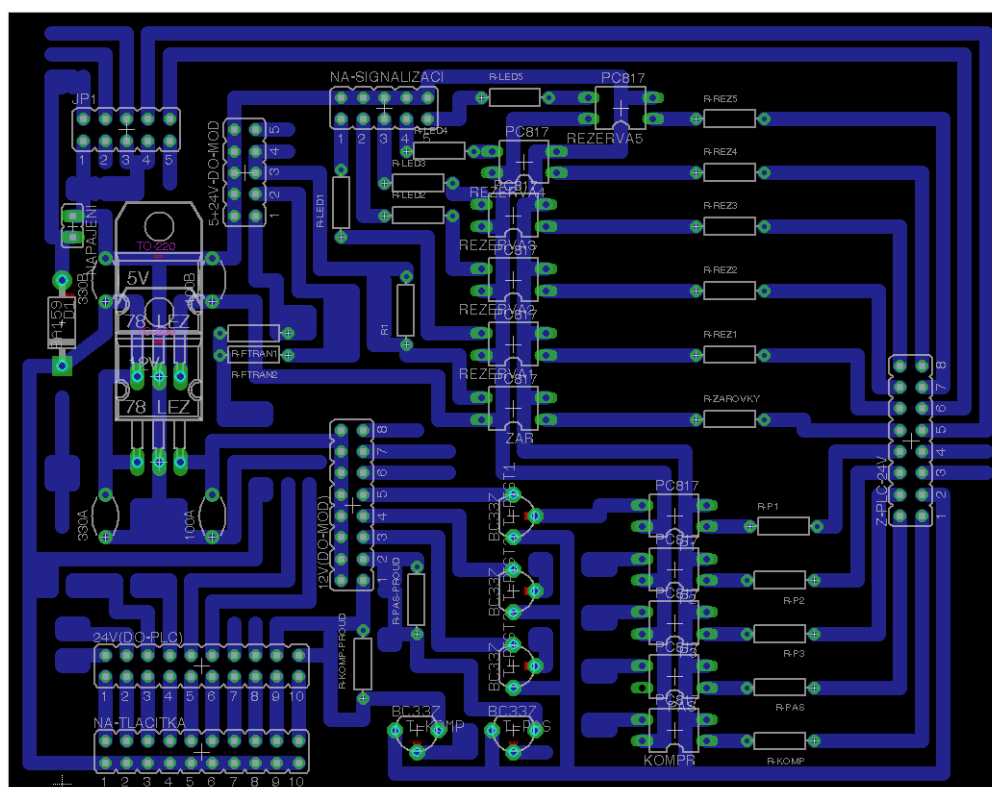
Tab. 2 – Specifikace součástek použitých v obvodu

Prvek	Specifikace
Rezistor R1	470 Ω , 2 W
Rezistor R2	82 Ω (pro červenou LED diodu), 150 Ω (pro zelené LED diody)
Rezistor R3	1200 Ω , 0,25 W
Rezistor R4	1 Ω , 0,25 W

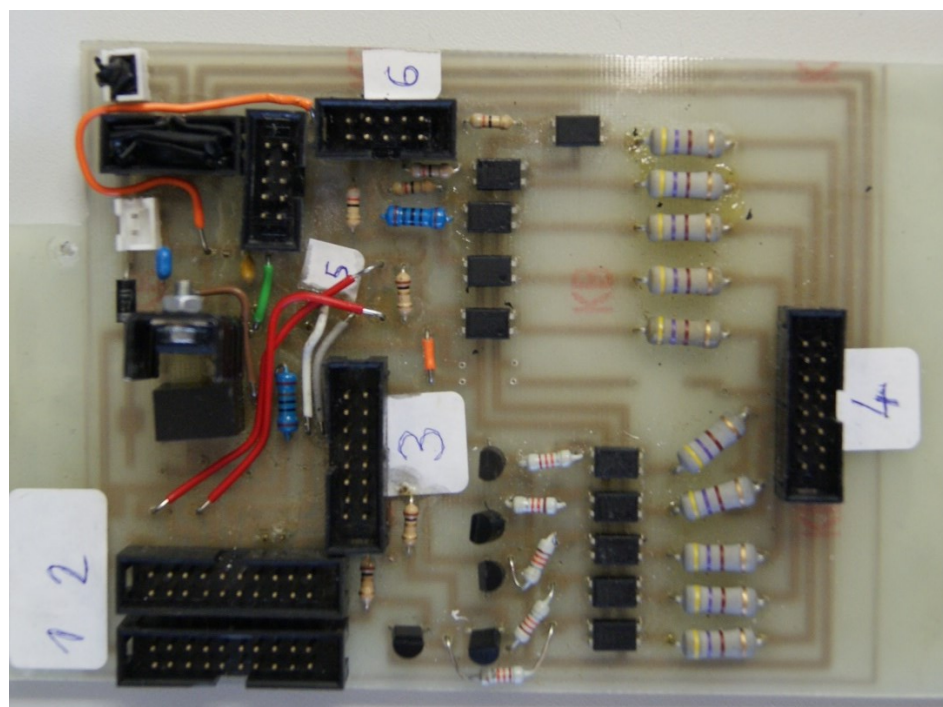
Rezistor R5	150 Ω , 0,25 W
DC-DC měnič M1	TRACOPOWER TSR 1-24120
Stabilizátor S1	7805
Kondenzátor C1	0,33 μ F
Kondenzátor C2	0,1 μ F
NPN tranzistor	BC337-25
Dioda D1	1N5399
Optočlen	COSMO K10101D



Obr. 19 – Elektrické schéma obvodu nakreslené v programu Eagle 7.1.0



Obr. 20 – Návrh desky plošných spojů v programu Eagle 7.1.0



Obr. 21 – Vyrobená deska plošných spojů – realizace obvodu

5 NÁVRH OVLÁDACÍHO PANELU

Aby bylo možné využívat všechny možnosti modelu, byl vyroben panel s tlačítky, spínači a signálními LED diodami. Pro výrobu panelu bylo použito víko úložné krabičky, ve které je umístěn zdroj napětí pro napájení modelu a vyrobená deska plošných spojů. Panel je navržen s ohledem na algoritmus dopravy a principy fungování systému, které jsou popsány v následující kapitole. Navržený panel obsahuje:

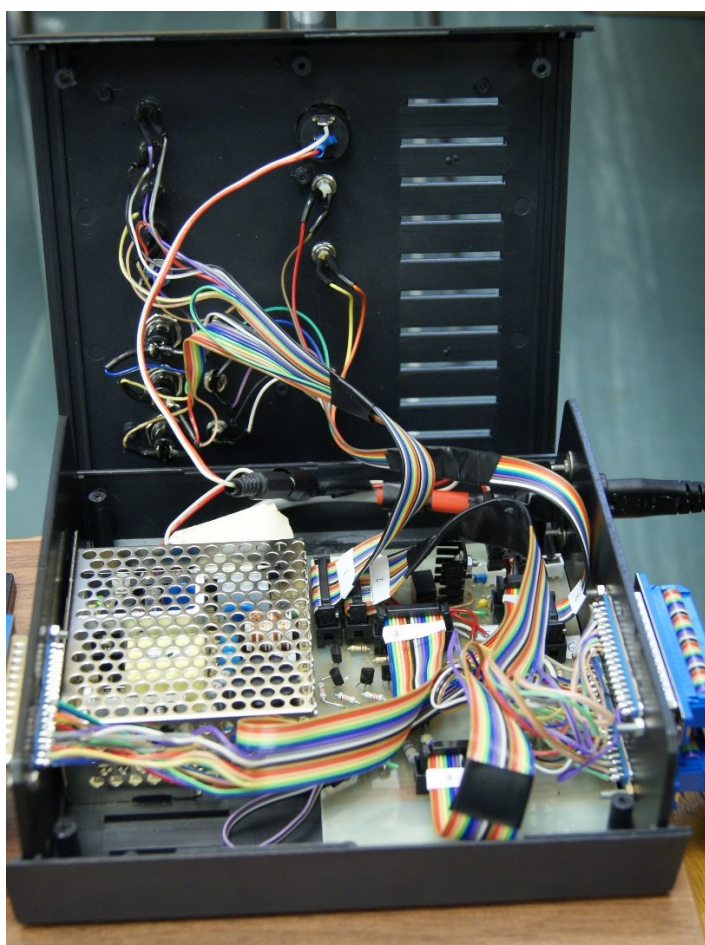
- hlavní spínač modelu,
- tři tlačítka pro přepínání mezi jednotlivými režimy (automatickým, poloautomatickým a manuálním,
- tři zelené signální LED diody pro signalizaci zapnutí jednotlivých režimů,
- jedno tlačítko pro ovládání modelu v poloautomatickém režimu,
- jeden spínač a čtyři tlačítka pro ovládání modelu v manuálním režimu,
- zelenou signální LED diodu pro indikaci toho, že probíhá doprava materiálu (v poloautomatickém a automatickém režimu) a
- červenou signální LED diodu pro indikaci chyby systému.

Piny tlačítek, spínačů, přepínačů a signálních LED diod jsou přivedeny pomocí plochých kabelů do zdírek na desce plošných spojů. Všechna tlačítka a spínače kromě hlavního spínače modelu jsou připojeny jako signál k programovatelnému automatu. Taktéž rozsvěcování LED diod je řízeno pouze automatem. Bez toho, aby program v automatu fungoval, se nemůže rozsvítit žádná LED dioda.

Na *obr. 22* je fotografie ovládacího panelu s osazenými prvky, na *obr. 23* je fotografie vnitřní části úložné krabičky obsahující desku plošných spojů a zdroj napětí. Na této fotografii je možné vidět připojení prvků (tlačítek, spínačů a LED diod) a konektorů k desce pomocí plochých kabelů.



Obr. 22 – Ovládací panel pro model pásového dopravníku



Obr. 23 – Vnitřní část úložné krabičky

6 NÁVRH PROGRAMU PRO DOPRAVU MATERIÁLU

Programovatelný automat funguje tak, že v daném časovém okamžiku uloží do paměti hodnoty vstupů (signály z tlačítek, spínačů, snímačů přítomnosti materiálu atd.) a s těmito hodnotami vstupů pracuje při následném provádění programu. Na základě provedení programu automat zapíše vypočtené hodnoty na výstupy. Poté se celý cyklus opakuje. Perioda opakování cyklu se dá nastavit. V řešené aplikaci je perioda nastavena na 1 ms, cyklus se tedy opakuje 1000krát za sekundu. [8]

Aby řízená technologie pracovala tak, jak má, je třeba vhodně navrhnout program prováděný automatem. Pro zajištění korektnosti a správnosti programu je třeba nejprve jasně stanovit, jak bude program fungovat.

V následujícím textu je nejprve navržen a zobrazen ve vývojovém diagramu algoritmus dopravy materiálu a poté jsou formulovány další principy fungování modelu, které pro zachování přehlednosti nejsou zobrazeny ve vývojovém diagramu. Na základě vytvořeného algoritmu a formulovaných principů fungování je poté napsán program pro řídicí systém.

6.1 Algoritmus dopravy materiálu

Doprava materiálu může probíhat ve třech režimech: v automatickém, poloautomatickém a manuálním.

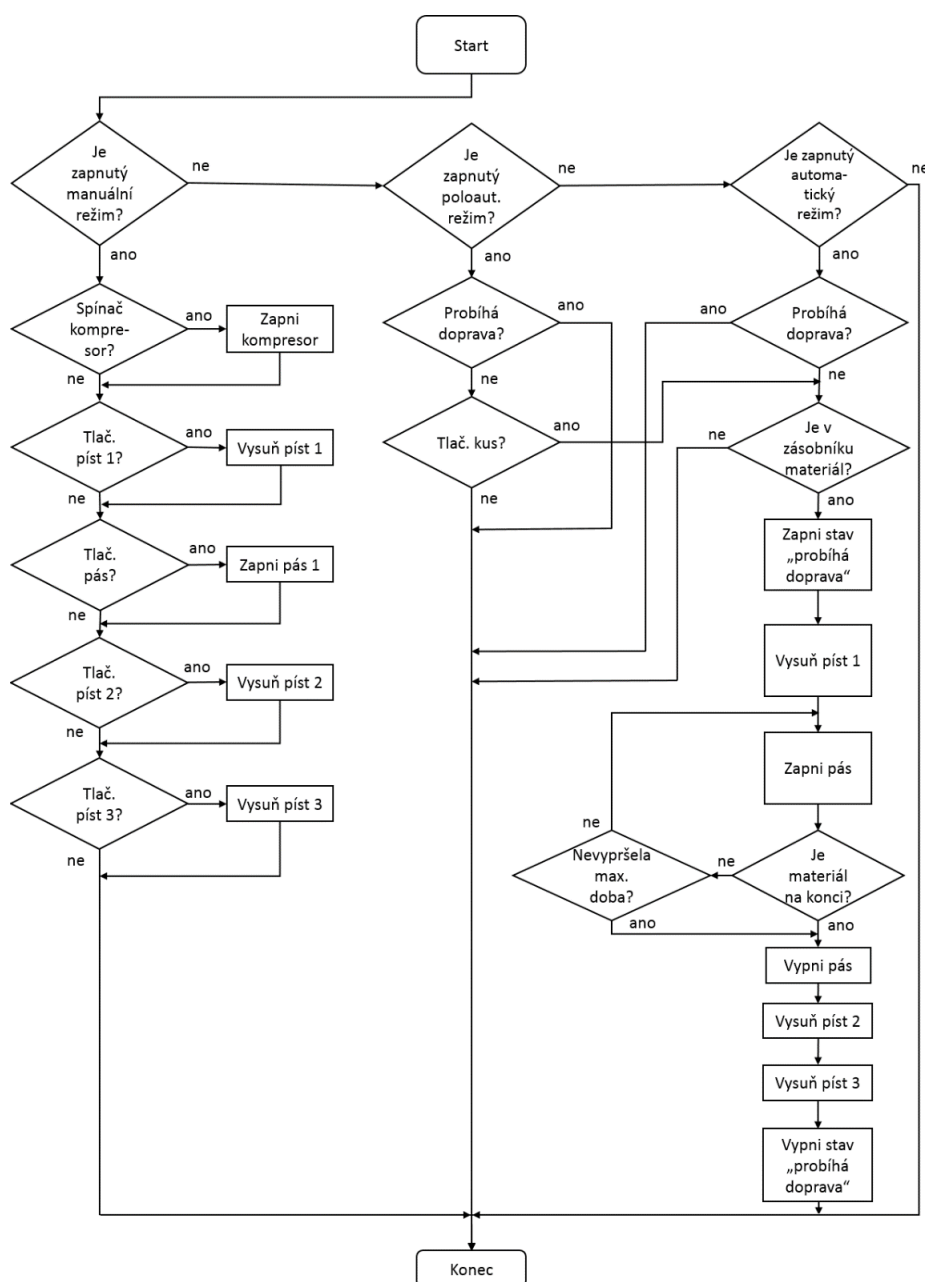
Pokud je zapnutý automatický režim, provede se posloupnost kroků pro dopravu materiálu následovně: systém nejprve rozpozná, zda je v zásobníku materiál, pokud ano, je materiál pomocí prvního pístu vysunut na pás a pás je spuštěn. Poté program kontroluje, zda je materiál na konci pásu (tj. v pozici, ve které je třeba pás zastavit) a zda nevypršela maximální doba spuštění pásu. Pokud je splněna jedna z podmínek, pás je zastaven a v krátkém intervalu po sobě jsou vysunuty další dva písty, které dopraví materiál do kontejneru.

Pokud je zapnutý poloautomatický režim, systém kontroluje, zda je nebo není stisknuto tlačítko „kus“. Pokud tlačítko „kus“ stisknuto je a zároveň je v zásobníku materiál, systém provede dopravu jednoho kusu materiálu ze zásobníku do kontejneru stejným způsobem jako u automatického režimu. Poté čeká na opětovné stisknutí tlačítka „kus“.

Doprava materiálu v poloautomatickém a automatickém režimu tedy probíhá naprosto stejným způsobem, je však jinak spouštěna. V automatickém režimu je doprava spouštěna pouhou přítomností materiálu v zásobníku, v poloautomatickém režimu navíc ještě stisknutím tlačítka „kus“.

Pokud je zapnutý manuální režim, systém kontroluje, zda jsou stisknuta tlačítka ovládající písty a pás nebo zda je sepnut spínač ovládající kompresor. Pokud program detekuje, že je stisknuto některé tlačítko (resp. je sepnut spínač), vysune příslušný píst nebo spustí příslušný motorek. Poté znovu kontroluje sepnutí tlačítek (resp. spínačů).

Algoritmus dopravy je zobrazen ve vývojovém diagramu na *obr. 24*.



Obr. 24 – Vývojový diagram algoritmu dopravy

6.2 Principy fungování systému

Při vytváření programu pro řídicí systém byl brán zřetel na následující požadavky:

- snadná pochopitelnost pro obsluhu,
- spolehlivost,
- automatická diagnostika chyb systému,
- bezpečnost obsluhy,
- optimalizace rychlosti dopravy materiálu a
- nízká spotřeba energie.

Požadovaný režim dopravy materiálu lze zapnout stisknutím tlačítka na ovládacím panelu. Zapnutí jednotlivých režimů je signalizováno rozsvícením příslušné LED diody.

Program je navržen tak, aby se nemohl dostat do stavu zacyklení, tzn., že by čekal na signál, který nemůže přijít. K takovému stavu by mohlo dojít, kdyby byl materiál v průběhu přepravy odstraněn z pásu. Nemohl by tak dosáhnout konce pásu, snímač přítomnosti materiálu na konci pásu by nemohl detekovat přítomnost materiálu a pás by byl neustále v pohybu. Proto je pohyb pásu vypínán nejen signálem ze snímače přítomnosti materiálu na konci pásu, ale i vypršením maximální doby spuštění pásu. To je realizováno pomocí časovače, jehož výstup je vypínán signálem ze snímače, nejdéle však může být zapnutý 3 sekundy (řádná doba dopravy materiálu je asi 2,5 s).

Systém je navržen tak, aby byl schopen sám diagnostikovat následující chybové stavy:

- přerušení vodičů, které vedou z obvodu k motoru kompresoru,
- sejmutí řemenu z řemenice klikové hřídele kompresoru,
- přerušení vodičů, které vedou z obvodu k motoru pásu (oba přerušení mohou být realizována např. odpojením konektoru vedoucího z úložné krabice k prvkům modelu),
- odpojení prvního i druhého kabelu, který vede z krabice u modelu do programovatelného automatu a
- vypnutí modelu na hlavním spínači (potažmo vytažení přívodu elektrické energie).

Pro detekci přerušení drátů, které vedou k motorkům, je využita možnost měření proudu, který teče motorky (proud každého motoru lze měřit zvlášť). Pomocí karty analogových vstupů je (vůči zemi) měřeno napětí na obou koncích rezistoru zařazeného ve vedení (viz *obr. 17*). Následně je vypočten rozdíl těchto napětí. Tento rozdíl je přímo úměrný proudu protékajícímu motorkem. Pokud systém zapne digitální výstup ovládající některý z motorků a do půl sekundy nestoupne proud nad stanovenou mez, znamená to, že buďto je vedení přerušeno nebo je (v případě motoru kompresoru) řemen sejmут z řemenice. (Motorek kompresoru tak má vyšší otáčky a nižší proudový odběr.) V případě detekce přerušení drátu (nebo sejmutí řemene) systém vypne všechny výstupy, vypne zvolený režim a rozsvítí LED diodu „chyba“. Po odstranění problému lze chybu resetovat opětovným zvolením režimu.

Detekce vytažení konektorů, které vedou z programovatelného automatu do krabičky u modelu, je umožněna díky tomu, že na některé piny jednoho i druhého konektoru je přivedeno napětí 24 V z napájecího zdroje automatu. U každého z dvou konektorů je uvnitř krabičky jeden z těchto pinů propojen drátkem s jiným pinem připojeným na digitální vstup automatu. Pokud systém detekuje logickou 0 na jednom nebo druhém digitálním vstupu, znamená to, že je odpojen jeden nebo druhý kabel.

V případě odpojení kabelu č. 1, kterým jsou do automatu připojeny analogové signály pro měření proudu, systém znemožní rozsvícení LED diody „chyba“ a zastavení dopravy materiálu, ačkoli analogové vstupy měří nulový proud (protože kabel je odpojen).

V případě odpojení kabelu č. 2, kterým jsou do automatu připojeny digitální signály, systém vypne všechny výstupy a režim dopravy.

Detekce vypnutí modelu na hlavním spínači (potažmo vytažení síťového kabelu) je umožněna díky tomu, že napětí 24 V z externího zdroje je přivedeno přes hlavní spínač modelu na jeden z digitálních vstupů programovatelného automatu. Po vypnutí modelu nebo vytažení síťového kabelu se na tomto vstupu objeví logická 0. Vypnutí modelu (popř. vytažení síťového kabelu) resetuje všechny výstupy a zvolený režim dopravy (stejně jako vytažení kabelu č. 2).

Pro zajištění bezpečnosti obsluhy (principiálně) je vhodné, aby bezprostředně po zapnutí modelu na hlavním spínači nedošlo k roztočení některého z motorků nebo k vysunutí pístu. Proto je po přepnutí automatu do režimu RUN nebo po zapnutí modelu nutno nejprve pomocí tlačítka zvolit režim dopravy. Po opětovném vypnutí a zapnutí

modelu (popř. vytažení a zasunutí síťového kabelu) nebo vytažení a zasunutí kabelu č. 2 je třeba opět zvolit režim dopravy (ačkoli již předtím byl zvolen).

Proces dopravy materiálu v poloautomatickém a automatickém režimu je optimalizován tak, aby nedocházelo ke zbytečným časovým prodlevám. Náběžná hrana proměnné ovládající první píst spouští chod pásu a setuje blokaci, tzn. zákaz vyhodnocení přítomnosti materiálu v zásobníku a spuštění dopravy (protože doprava právě probíhá). V době, kdy se materiál dostane ze zásobníku na pás je pás už v pohybu. Dále je optimalizována doba, po kterou je proměnná ovládající píst v logické 1. Tato doba nemůže být příliš krátká, protože by nedošlo k dostatečnému vysunutí pístu, nemůže být ani příliš dlouhá, protože by docházelo ke zbytečným časovým prodlevám. Optimální doba vysunutí všech tří pístů 0,5 s. Sestupná hrana proměnné ovládající třetí píst resetuje blokaci a systém opět vyhodnocuje přítomnost materiálu v zásobníku a může uskutečnit dopravu dalšího kusu.

Pro správné fungování modelu je zapotřebí, aby v tlakové nádobě byl dostatečný tlak vzduchu. V manuálním režimu dopravy je chod kompresoru ovládán spínačem, v poloautomatickém a automatickém režimu je řízen automaticky. Bylo experimentálně zjištěno, že k dostatečnému natlakování tlakové nádoby kompresorem je třeba asi 4 sekundy chodu kompresoru. Po zapnutí poloautomatického nebo automatického režimu dopravy je tedy kompresor zapnut na 4 sekundy a teprve po uplynutí této doby může začít proces přepravy materiálu. Pokud dojde ke spuštění dopravy materiálu, zůstane kompresor zapnut, pokud nedojde ke spuštění dopravy, je kompresor vypnut. Po ukončení procesu dopravy zůstane kompresor zapnut ještě 4 sekundy a poté je vypnut. Dojde tak k dostatečnému natlakování nádoby pro příští cyklus dopravy, nedojde však ke zbytečnému přetlakování nebo prokluzování řemenového převodu a nadměrné spotřebě energie. Spínání kompresoru je realizováno pomocí časovače, který je spouštěn zvolením režimu (náběžnou hranou proměnné režimu) nebo spuštěním procesu dopravy. Výstup časovače je v logické 1 po celou dobu procesu dopravy a po ukončení procesu dopravy ještě 4 s.

Program umožňuje počítat, kolik kusů materiálu bylo dopraveno. K tomu slouží čítač, který má na svém výstupu analogovou hodnotu typu integer. Pokud řídicí systém zaznamená signál ze snímače přítomnosti materiálu na konci pásu, čítač je inkrementován o jedničku. Inkrementace je však podmíněna zapnutím napájení modelu, protože jinak by při vypnutí modelu (když přestanou svítit žárovky světelných závor) došlo rovněž

k inkrementaci čítače. Inkrementace může proběhnout nejdříve za dvě sekundy po zapnutí modelu, a to z důvodu setrvačnosti žárovek. Dále je inkrementace podmíněna tím, že není fyzicky vysunut druhý píst. Vysunutí pístu č. 2 totiž také přeruší světelný tok mezi žárovkou a fototranzistorem. Ne vždy však vysunutí druhého pístu znamená manipulaci s materiálem, v manuálním režimu může být píst vysouván v libovolné chvíli (i na prázdkno). Snímač je tedy inkrementován pouze, když mezi žárovku a fototranzistor dorazí materiál.

6.3 Tvorba programu pro řídicí systém

V softwarovém nástroji TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) byl vytvořen projekt a po připojení programovatelného automatu k osobnímu počítači byla do projektu přidána centrální procesorová jednotka 1516 PN/DP. Po přidání jednotky byla využita možnost automatického rozpoznání připojeného hardwaru. TIA Portal automaticky rozpoznal všechny připojené moduly, tj. modul analogových výstupů, modul analogových vstupů, modul digitálních výstupů a modul digitálních vstupů.

TIA Portal umožňuje programování ve více jazycích. Jedním z často používaných jazyků je ladder diagram, tj. žebříčkový diagram nebo také jazyk kontaktních schémat. Tento jazyk je použit pro implementaci algoritmu dopravy materiálu a formulovaných principů fungování modelu pásového dopravníku do programovatelného automatu.

Při programování bylo zapotřebí deklarovat následující prvky:

- 14 digitálních vstupních proměnných,
- 10 digitálních výstupních proměnných,
- 40 vnitřních digitálních proměnných,
- 4 vstupní analogové proměnné,
- 7 vnitřních analogových proměnných,
- 10 časovačů,
- 2 bloky pro výpočet rozdílu,
- 2 bloky typu MOVE a
- 1 čítač.

Vytvořený program je doložen na CD přiloženém k této bakalářské práci. Fungování jednotlivých částí programu je detailně popsáno v komentářích programu.

7 NÁVRH ROZHRAŇÍ PRO DOTYKOVÝ DISPLEJ

Pro tvorbu HMI, neboli rozhraní člověk – stroj, byl použit panel Siemens TP700 Comfort. Tento panel je vybaven dotykovým odporovým displejem s úhlopříčkou 7" a je přizpůsoben pro montáž do rozvaděčové skříně. Rozlišení displeje je 800 x 480 pixelů. K programovatelnému automatu byl dotykový panel připojen pomocí rozhraní Ethernet.

Panel byl nakonfigurován v prostředí TIA Portal s využitím rozšíření WinCC Comfort. Panel bylo zapotřebí přidat do projektu podobným způsobem, jako byla přidána centrální procesorová jednotka.

Vytvořené rozhraní pro ovládání modelu obsahuje jednu obrazovku. Na tuto obrazovku byla přidána tlačítka a tato tlačítka byla svázána s proměnnými v automatu.

Dále byly na obrazovku přidány textová pole. Vlastnosti některých textových polí (např. barva textu) jsou závislé na stavu proměnných v automatu. Obrazovka je rozdělena do několika částí.

V první části obrazovky lze pomocí tří tlačítek zvolit režim dopravy materiálu. Po zvolení režimu se název zvoleného režimu zbarví do červena, tlačítko se stane neviditelné a místo tlačítka se objeví „*zvolen*“.

Ve druhé části obrazovky se po zvolení režimu objeví stručný návod pro obsluhu a (v případě poloautomatického a manuálního režimu) tlačítka pro ovládání modelu. Tlačítka na dotykovém displeji pro ovládání pásu a pístů fungují tak, že po dobu stisknutí tlačítka je vysunut píst nebo zapnut pohyb pásu (obdoba tlačítka na panelu u modelu). Tlačítko pro ovládání kompresoru funguje tak, že po prvním stisknutí se kompresor zapne, po druhém stisknutí se kompresor vypne (obdoba spínače).

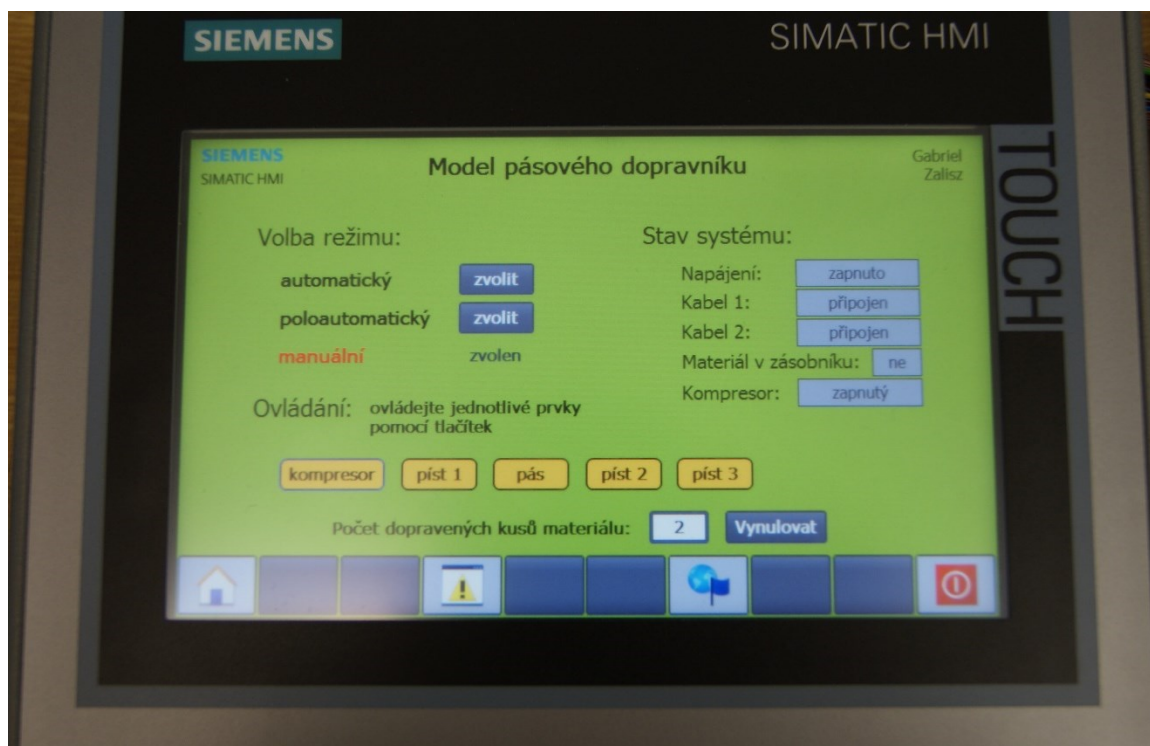
Třetí část obrazovky informuje obsluhu o stavu systému, tj. o zapnutí napájení modelu, o tom, zda je model připojen k automatu (žádným, jedním nebo dvěma kabely), o tom, zda je v zásobníku materiál a o zapnutí kompresoru.

Čtvrtá část obrazovky informuje obsluhu o počtu dopravených kusů materiálu. K tomu slouží ukazatel čísla, který je napojen na analogovou hodnotu typu integer vystupující z čítače popsaného v předchozím textu. Čítač je možno vynulovat stisknutím tlačítka „*Vynulovat*“. Toto tlačítko je svázáno s digitální proměnnou v automatu, která je napojena na resetovací vstup čítače.

V případě chybového stavu systému se na displeji objeví červený nápis „*CHYBA*“ a stručný návod pro odstranění chyby. V případě, že je systém ve stavu probíhající dopravy (v poloautomatickém nebo automatickém režimu), na displeji se objeví zelený nápis „*DOPRAVA*“.

Model lze současně ovládat jak pomocí panelu s tlačítky, tak pomocí dotykového displeje. Tlačítko na panelu a odpovídající tlačítko na displeji jsou svázány s dvěma různými proměnnými, které jsou v kódu programu řazeny paralelně, vykonávají tak stejnou funkci, ale navzájem nekolidují a neovlivňují se.

Na *obr. 25* je obrazovka HMI pro ovládání modelu v manuálním režimu. Více fotografií panelu je na CD přiloženém k této bakalářské práci.



Obr. 25 – Obrazovka rozhraní pro ovládání modelu v manuálním režimu

8 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI

Při experimentálním ověření funkčnosti (neboli tzv. ožívování systému) se vyskytlo několik problémů. Problémy se týkaly především fungování elektrického obvodu. Všechna zapojení uvedená samostatně v kapitole věnované návrhu elektrického obvodu (*kap. 4*) jsou vyzkoušená, funkční a realizována na desce plošných spojů. Tato kapitola ale uvádí některá původně zamýšlená zapojení, která se z různých důvodů projevila jako nefunkční. Z důvodu nefungování těchto zapojení musela být vyrobená deska plošných spojů dodatečně upravena přerušením některých cest nebo propojením některých míst pomocí drátků.

Původně bylo zamýšleno použít k poskytnutí stejnosměrného napětí o velikosti 12 V stabilizátoru. Na vstup tohoto stabilizátoru mělo být připojeno napětí 24 V z externího zdroje. Na tomto stabilizátoru však vznikl velký ztrátový výkon a stabilizátor se příliš hřál. Proto byl tento stabilizátor vyjmut z obvodu a byl nahrazen DC-DC měničem.

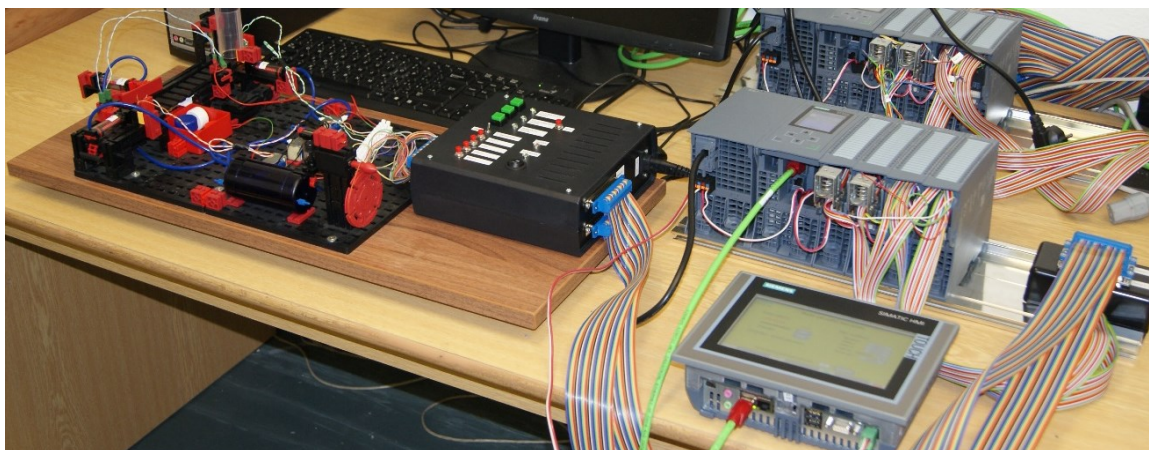
Rovněž na stabilizátoru napětí, který poskytoval napětí o hodnotě 5 V, vznikl velký ztrátový výkon a stabilizátor se příliš hřál. Nepomohlo ani použití chladiče. Po analýze byla zjištěna příčina velkého proudového odběru a mezi emitory fototranzistorů optočlenů a báze NPN tranzistorů byly přidány bazové rezistory R_3 o hodnotě odporu 1200 Ω . Tímto byl omezen bazový proud NPN tranzistorů na optimální hodnotu, která stačí pro otevření tranzistoru. Avšak po této úpravě se stabilizátor stále nadměrně hřál. Důvodem byl velký proudový odběr žárovek, a proto byl pro dodatečné snížení ztrátového výkonu vstup tohoto stabilizátoru napojen na výstup z DC-DC měniče (12 V) – místo původního napojení na zdroj 24 V. Tímto byl snížen pokles napětí na stabilizátoru z 19 V na 7 V. Přímo úměrně k tomu klesl i ztrátový výkon.

Původně bylo zamýšleno zapojit snímače přítomnosti materiálu tak, aby fungovaly na principu pull-up rezistorů. Toto zapojení fungovalo dle očekávání pouze při měření výstupu snímače voltmetrem. Avšak po připojení snímačů na kartu digitálních vstupů programovatelného automatu navržené zapojení nefungovalo. Důvodem byl relativně malý vnitřní odpor vstupu automatu. Proto bylo navrženo zapojení uvedené na *obr. 18*.

Za účelem oživení systému byl vytvořen jednoduchý program pro programovatelný automat. Tento program sloužil pro vyzkoušení funkčnosti obvodu a pro ověření správnosti přiřazení proměnných programu k výstupům automatu. Po zajištění správného přiřazení

proměnných bylo přistoupeno k vytvoření programu pro automat na základě navrženého algoritmu dopravy a principů fungování. Při implementaci byl program průběžně testován přímo na modelu. Stejně tak při vytváření rozhraní pro dotykový panel bylo rozhraní průběžně testováno přímo na dotykovém panelu.

Na *obr. 26* je model pásového dopravníku připojený k řídicímu systému Simatic S7-1500 a dotykový panel TP700 Comfort.



Obr. 26 – Model, programovatelný automat a dotykový panel

9 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ A ZÁVĚR

V první části této práce byl detailně popsán model pásového dopravníku. Byl vysvětlen princip fungování kompresoru, pneumatických rozvaděčů, pístů, pásu a snímačů přítomnosti materiálu. U každého prvku bylo zjištěno napájecí napětí předepsané výrobcem a byl změřen proudový odběr. Dále byly objasněny původní možnosti řízení modelu, tj. automatický režim dopravy materiálu a manuální režim ovládání.

V další části této práce byl popsán řídicí systém Siemens Simatic S7-1500, tj. jeho centrální procesorové jednotky (CPU), signálové moduly, technologické funkce CPU a technologické moduly, komunikační funkce CPU a komunikační moduly. Dále byly objasněny možnosti programování systému Simatic S7-1500 a možnosti tvorby HMI a byl popsán konkrétní automat sestavený za účelem realizace této bakalářské práce.

Následně byl navržen elektrický obvod pro propojení modelu pásového dopravníku a řídicího systému Simatic. Tento obvod zajišťuje poskytnutí a rozvod potřebných napěťových úrovní, spínání prvků modelu, měření proudu protékajícího motorky, správné fungování snímačů přítomnosti materiálu a vyvedení signálů na konektory, tlačítka, spínače a LED diody. Na základě elektrického schématu obvodu byla vyrobena a osazena součástkami deska plošných spojů. Vyrobena deska spolu se zdrojem napětí pro napájení modelu je umístěna v plastové úložné krabici vedle modelu.

Pro ovládání modelu byl navržen a vyroben panel obsahující tlačítka, spínače a signalizační LED diody. Pro výrobu panelu bylo využito víko úložné krabice, ve které je zdroj napětí a deska plošných spojů.

Dále byl navržen algoritmus pro dopravu materiálu. Tento algoritmus byl zobrazen pomocí vývojového diagramu. Byly navrženy tři režimy dopravy: automatický, poloautomatický a manuální a bylo popsáno, jakým způsobem probíhá doprava materiálu v jednotlivých režimech. Byly rovněž stanoveny další principy fungování systému, které pro zachování přehlednosti nebyly zaneseny do vývojového diagramu, byly pouze formulovány slovně. Tyto principy určují, jakým způsobem je volen režim dopravy, jak je spouštěn a vypínán pás, jak funguje detekce chybových stavů systému a jak se systém při nich chová, kdy a na jak dlouho je spouštěn kompresor, jak je z hlediska rychlosti optimalizován proces dopravy materiálu a jak funguje počítání dopravených kusů materiálu.

V prostředí TIA Portal byl poté vytvořen projekt a na základě navrženého algoritmu a formulovaných principů fungování byl napsán program pro řídicí systém. Program byl napsán v jazyku kontaktních schémat (v ladder diagramu). Tento program je doložen na CD přiloženém k této bakalářské práci. Dále je doložen rovněž seznam všech proměnných použitých v programu.

Pro usnadnění obsluhy byl k programovatelnému automatu připojen panel s dotykovým displejem. V prostředí TIA Portal bylo nakonfigurováno rozhraní pro ovládání modelu. Dotykový panel umožňuje ovládat model stejným způsobem jako panel s tlačítky a spínači, tzn., že umožňuje zvolit režim dopravy a (v případě poloautomatického a manuálního režimu) provádět úkony pomocí tlačítek. Dále jsou na displeji zobrazeny informace o stavu systému, tj. o zapnutí napájení modelu, o tom, zda je model připojen k automatu (žádným, jedním nebo dvěma kabely), o tom, zda je v zásobníku materiál, o zapnutí kompresoru, o chybovém stavu systému a o stavu „probíhající doprava“. Pokud je zvolen režim dopravy, na displeji se zobrazí stručný návod na ovládání modelu v daném režimu. Taktéž v případě chybového stavu systému je obsluha informována o možných příčinách chyby a o postupu odstranění chyby. Displej rovněž zobrazuje počet dopravených kusů materiálu a umožňuje vynulování příslušného čítače.

Nakonec byl celý systém vyzkoušen. Nejprve byly odstraněny problémy s fungováním elektrického obvodu, poté bylo ověřováno správné fungování všech tří režimů dopravy, byly simulovány různé chybové stavy a bylo prověřováno, zda systém zareaguje tak, jak má. V případě neočekávaného chování systému byla provedena změna programu. Nakonec vše fungovalo správně.

Model může být využit jako ukázka možností řízení systému pomocí programovatelného automatu nebo možností ovládání pomocí rozhraní HMI.

Model může být rovněž použit jako přípravek pro výuku programování PLC automatů. V příloze této bakalářské práce je dokument s přesným popisem signálů na 37pinových konektorech, kterými je model připojen k automatu a na konektoru, kterým je obvod připojen k prvkům modelu. Studenti mohou vytvořit vlastní program pro automat a na základě přiloženého dokumentu přiřadit jednotlivé proměnné na příslušné vstupy a výstupy automatu a otestovat vlastní algoritmus přímo na modelu.

10 SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ

- [1] GRYCZ, O. *Řídicí systém pro model pásového dopravníku*. Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy, 2013, 41 s.
- [2] *VLASTNOSTI PLC SIMATIC S7-1500: Digital Factory & Process Industries and Drives – Siemens*. [online]. [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=7cbaf350dd&ctxp=home>
- [3] *SIMATIC S7-1500, KOMPONENTY, MODULY, NÁHRADNÍ DÍLY*. [online]. [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: http://www.hapesoft.cz/eshop/s7_1500.htm
- [4] *TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION PORTAL: Digital Factory & Process Industries and Drives – Siemens*. [online]. [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=2416f2e791&ctxp=home>
- [5] *FUZZY LOGIKA A NORMA IEC 61131 – Automa – časopis pro automatizační techniku*. [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://automa.cz/index.php?id_document=28848
- [6] *BABYLON – VYZNEJTE SE V PROGRAMOVACÍCH JAZYCÍCH PRO IEC 61131-3: Control Engineering Česko*. [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.controlengcesko.com/hlavni-menu/artykuly/artykul/article/babylon-vyznejte-se-v-programovacich-jazycich-pro-iec-61131-3/>
- [7] HERNYCH, M. *Programování dle normy IEC 61131 – Strukturovaný text (ST)*, Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 2012
- [8] KOZIOREK, J. *Programovatelné automaty a vizualizace řídicích systémů*, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012
- [9] *INDUSTRY – IMAGE DATABASE: Photos, graphics and CAX data free of charge for your presentation or engineering process*. [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <https://www.automation.siemens.com/bilddb/search.aspx?aktprim=0&nodeid=10204162&lang=en&usestructure=2>

11 SEZNAM PŘÍLOH

- A Význam pinů na konektorech modelu
- B Diplom ze soutěže STOČ na FAI UTB ve Zlíně

Obsah přiloženého CD:

- složka *Bakalářská práce a přílohy*
 - soubor *Bakalářská práce Gabriel Zalisz* (pdf)
 - soubor *Příloha A – Význam pinů na konektorech* (pdf)
 - soubor *Příloha B – Diplom ze soutěže STOČ na FAI UTB ve Zlíně* (pdf)
- složka *Fotodokumentace*
 - soubor *1 celá sestava* (jpg)
 - soubor *2 kompresor* (jpg)
 - soubor *3 ventily* (jpg)
 - soubor *4 pás a písty* (jpg)
 - soubor *5 ovládací panel* (jpg)
 - soubor *6 automatický režim* (jpg)
 - soubor *7 poloautomatický režim* (jpg)
 - soubor *8 manuální režim* (jpg)
- složka Program pro řídicí systém
 - soubor *Program pro řídicí systém* (pdf)
 - soubor *Seznam proměnných* (pdf)
- složka Projekt pro TIA Portal
 - složka *Oziveni* (obsahující kompletní projekt pro programovatelný automat a dotykový displej)
- složka Soubory pro výrobu desky plošných spojů
 - soubor *model* (sch)
 - soubor *model* (brd)
- složka Video
 - soubor *Model pásového dopravníku* (mp4)